

УДК 656.7.08.001.57 (04731)

В.О. Касьянов, д-р техн. наук
А.В. Гончаренко**СТАТИСТИЧНІ ОЦІНКИ ЧАСТОТИ КАТАСТРОФ**

Аерокосмічний інститут НАУ, e-mail: andygoncharenko@yahoo.com

Опрацьовано статистичний матеріал з авіаційних катастроф за тридцятилітній період. Підтверджено характер залежності частоти потоку катастрофічних подій від витрат на технічне обслуговування і ремонт. Наведено статистичні дані показників безпеки польотів.

Вступ

Авіаційні катастрофи є рідкими подіями, в зв'язку з чим отримати обґрунтовані статистичні висновки на підставі однієї авіаційної транспортної системи (АТС) як окремого об'єкта господарської діяльності, навіть для великих АТС майже неможливо. У роботі здійснено спробу простежити загальну тенденцію до зниження частоти катастрофічних подій, що відбувалася протягом 30 років.

Розглянуто світову статистику з авіаційних катастроф, досліджено зв'язок між відрахуваннями на підтримання рівня безпеки польотів (БП) V_s та частотою потоку катастрофічних подій λ .

Аналіз досліджень і публікацій

За статистичними даними [1; 2] поступово зменшується кількість катастроф, що протягом року трапляються з повітряними кораблями (ПК) – регулярних комерційних перевізників.

За джерелом [1] таку інформацію отримано за період 1966–1999 рр. У праці [2] дані наведено для 1950–1998 рр.

У статистичних даних спостерігаються розбіжності за джерелами походження, які зумовлено переважно дескриптивним характером даних, а також великою кількістю статистичних ознак, постійним коригуванням попередньої інформації тощо.

Зокрема, розбіжність даних про кількість катастроф у джерелі [1] і праці [2] з 1994 р. пояснюється тим, що в статистиці ІКАО не враховано дані по СРСР, Росії, країн СНД за кількістю катастроф до 1994 р.

Із 1992 р. у статистиці ІКАО наявна інформація про наліт ПК парку комерційних регулярних перевізників Росії.

У графах “Витрати на технічне обслуговування і ремонт” (ТОіР), а також “Кількість ПК” дані наведено без СРСР, Росії, країн СНД. У праці [2] інформація також не містить даних СРСР, Росії, країн СНД.

Незважаючи на суттєву неоднорідність і відсутність строгого обґрунтування, спробуємо отримати попередні інтегральні висновки з наявних статистичних даних.

Теоретичний підхід, розвинутий у праці [5], можна використовувати для розв'язання деяких завдань, пов'язаних з інтегральними критеріями БП. У цьому разі потрібно отримати статистичні оцінки деяких параметрів, що містяться в запропонованих у праці [5] критеріях з урахуванням періодичностей, тривалостей та вартостей проведення заміни і ремонтів елементів системи.

У працях [8–12] було використано модельне співвідношення для обчислення інтенсивності λ катастрофічних подій залежно від витрат на підтримання безпечного функціонування АТС:

$$\lambda(V_s) = \lambda_{\min} + \frac{\lambda_0 - \lambda_{\min}}{1 + \alpha V_s}, \quad (1)$$

де λ – сумарна частота потоку несприятливих випадкових подій; V_s – відрахування на підтримання рівня БП; λ_{\min} – мінімально досяжна за певного рівня розвитку техніки частота подій, яка не може бути зменшеною через подальше нарощування витрат; λ_0 – інтенсивність подій, що відповідає певному початковому значенню V_s ; α – ефективність використання витрат на підтримку БП.

Постановка завдання

Завдання полягає в тому, щоб отримати статистичні оцінки параметрів у формулі (1).

На значення λ як показника впливають: технічний стан авіаційної техніки, рівень підготовки льотного складу, кваліфікація персоналу та оснащеність наземних служб керування повітряним рухом, метеорологічні умови тощо.

Відомо, що найбільш впливовим стосовно БП є людський чинник. Можна припустити, що цей чинник щільно корельований з рівнем технічної надійності, оскільки часто помилки льотного складу виникають через технічні відмови функціональних систем ПК або інших складових АТС.

Виходячи з припущення про означену корельованість, далі будемо досліджувати залежність рівня БП від ТОіР, а саме від витрат на їх проведення, для яких існують статистичні дані за досить значний період часу.

На основі обробки статистичного матеріалу отримують оцінки λ .

Для отримання оцінок параметрів рівняння (1), апроксимації, оцінювання регресійних лінійних та нелінійних залежностей $\lambda(V_s)$ застосовують метод найменших квадратів [3; 4; 6; 7].

Перевіряється можливість використання інших аналітичних виразів для $\lambda(V_s)$, наприклад, у вигляді

$$\lambda(V_s) = \lambda_{\min} + (\lambda_0 - \lambda_{\min})e^{k(V_s - V_{s0})}, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності; V_s – поточне значення витрат на ТОіР за рік; V_{s0} – початковий рівень витрат на ТОіР за рік.

Дослідження проводять для парку ПК комерційних регулярних перевізників, оскільки для нерегулярних перевізників у доступних джерелах статистики бракує даних про витрати на ТОіР.

Для нерегулярних перевізників майже неможливо простежити періодичність форм ТОіР, характерну для регулярної авіації. Немає також досить надійної статистичної інформації про фінансову діяльність нерегулярних перевізників. Припускаємо, що звуження вибірки не порушує принциповий характер залежності $\lambda(V_s)$.

Обробка первинного статистичного матеріалу

Результати первинної обробки статистичних даних наведено на рис. 1–5. На рис. 1 ряди 1, 2, 3, 4 відповідають кількості катастроф, кількості загиблих, поділені на 50, коефіцієнту K_1 (кількість катастроф на 10^5 год нальоту), помноженому на 50, коефіцієнту K_4 (кількості загиблих на 10^8 пас.-км), помноженому на 25.

На рис. 2 до рядів 1, 3 (рис. 1) додано ряди 2, 4, 5, 6 з метою детальніше усвідомити динаміку обсягів виконаної авіаційної транспортної роботи і висвітлення на цьому фоні показників рівнів БП.

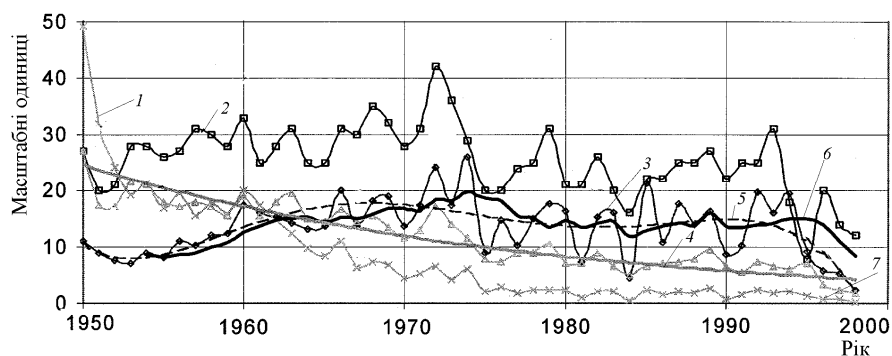


Рис. 1. Масштабно-порівняльне відображення динаміки стану рівня БП:
1 – ряд 4; 2 – ряд 1; 3 – ряд 2; 4 – експоненціальний тренд ряду 3;
5 – поліноміальний 5-го ступеня тренд ряду 2; 6 – п'ятилінійний тренд ряду 2; 7 – ряд 3

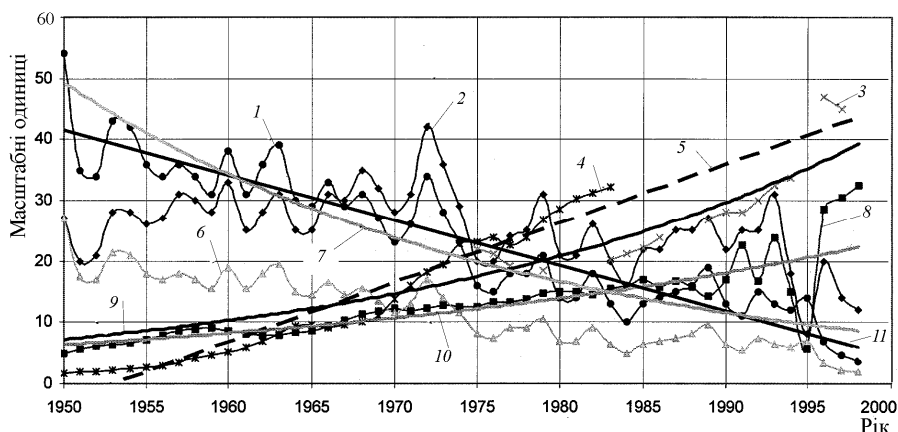


Рис. 2. Масштабно-порівняльне відображення динаміки стану рівня БП на фоні виконаної авіаційної транспортної роботи:

1 – ряд 6; 2 – ряд 1; 3 – ряд 4; 4 – ряд 5; 5 – лінійний тренд ряду 5; 6 – ряд 3; 7 – експоненціальний тренд ряду 6; 8 – ряд 2; 9 – експоненціальний тренд ряду 4; 10 – експоненціальний тренд ряду 2; 11 – лінійний тренд ряду 6

Ряди 2, 4 – 6 (рис. 2) відповідають нальоту в 10^6 год, виконаному парком ПК комерційних регулярних перевізників (у відсотках від загального нальоту усього парку ПК у світі), витратам на ТОіР (у мільярдах доларів США), λ , помножене на 10^7 .

Динаміку коефіцієнта K_1 , лінійний та експоненціальний тренди показано на рис. 3.

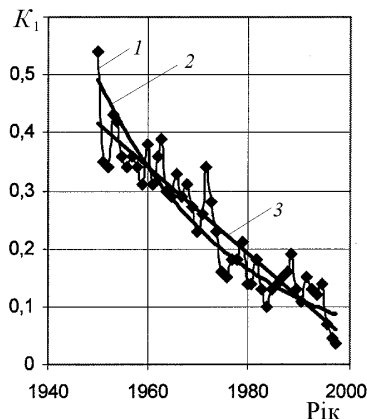


Рис. 3. Коефіцієнт K_1 (кількість катастроф на 10^5 год нальоту):

1 – ряд 1; 2 – експоненціальний тренд ряду 1; 3 – лінійний тренд ряду 1

Найкраща апроксимація за залишковою дисперсією відбувається для лінійного або дуже слабо вираженого експоненціального тренда. Динаміку коефіцієнта K_4 , лінійний і експоненціальний тренди показано на рис. 4.

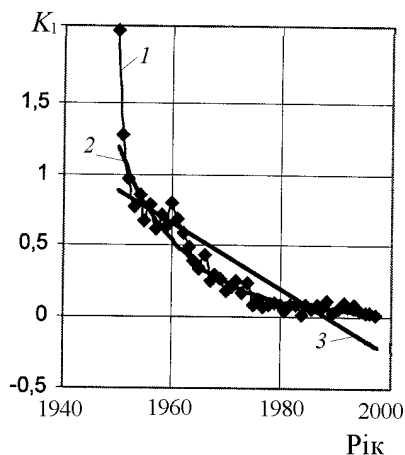


Рис. 4. Коефіцієнт K_4 (кількість загиблих на 10^8 пас.-км):

1 – ряд 1; 2 – експоненціальний тренд ряду 1; 3 – лінійний тренд ряду 1

За апроксимаційну лінію слід прийняти експоненціальний тренд. Оскільки з усього комплексу робіт, пов'язаних із підтримкою рівня БП, у цій роботі виділяються саме роботи з ТОіР, проаналізуємо відносну динаміку витрат на ТОіР.

Зауважимо, що витрати на БП за видами спрямування корельовані, наприклад, витрати на ТОіР та витрати на підготовку льотного складу.

Зміну відсоткового співвідношення між витратами на ТОіР та сумою загальних експлуатаційних витрат зображено на рис. 5.

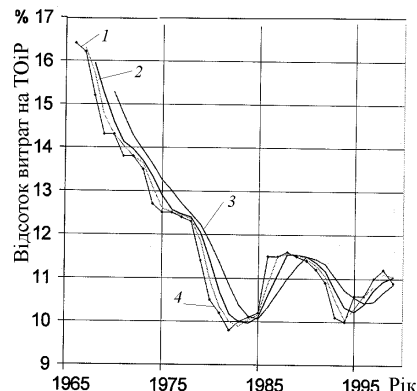


Рис. 5. Витрати на ТОіР авіаційної техніки:

1 – ряд 1; 2 – трилінійний тренд ряду 1; 3 – п'ятилінійний тренд ряду 1; 4 – дволінійний тренд ряду 1

Помітно характерну тенденцію до стабілізації витрат на ТОіР у відсотках до суми загальних експлуатаційних витрат на певному відповідно до розвитку техніки рівні.

Такі моменти можуть бути викликані зміною стратегій або інноваційною діяльністю в сфері ТОіР [5], переходом на інший технічний рівень оснащення ПК, що потребує окремого дослідження.

Апроксимація $\lambda(V_s)$

Після первинної обробки статистичного матеріалу стає більш очевидною наявність залежності $\lambda(V_s)$. Цю залежність показано на рис. 6 лінією експоненціального тренда.

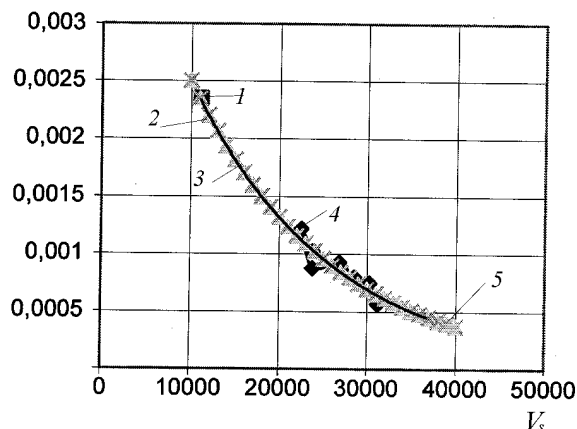


Рис. 6. Апроксимація залежності $\lambda(V_s)$:

1 – ряд 2; 2 – ряд 4; 3 – експоненціальний тренд ряду 1; 4 – ряд 1; 5 – ряд 3

Оцінку невідомих параметрів виконують за формулами (1) або (2) одним з методів статистичного оцінювання, наприклад, за методом найменших квадратів.

На рис. 6 ряди 1 – 4 відповідають статистичним даним, точці рівня витрат на ТОіР V_{s0} , апроксимаційним кривим, отриманим за формулами (2), (1).

Графіки побудовано для періоду 1992–1998 рр. з прогнозами в бік збільшення та зменшення витрат приблизно на 8 500 та 12 500 одиниць V_s відповідно.

Побудова графіків

парної нелінійної регресії між λ та V_s

Уведемо гіпотезу, що між чинником V_s і показником λ існує стохастична залежність

$$\hat{\lambda}(V_s) = ae^{k(V_s - V_{s0})} + b. \quad (3)$$

Заміною $X_1 = e^{k(V_s - V_{s0})}$ зводимо нелінійну парну регресію (3) до парної лінійної

$$\hat{\lambda}(V_s) = aX_1 + b. \quad (4)$$

Оцінки параметрів a і b для цієї регресії визначимо за відомими формулами [6].

За критерієм Фішера на рівні значущості 0,05 отримано результат, наведений на рис. 7.

Рис. 7. Регресія $\lambda(V_s)$:

1 – ряд 2; 2 – ряд 1; 3 – ряд 4; 4 – ряд 5; 5 – експоненціальний тренд ряду 1; 6 – ряд 3

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера більше від критичного $F_{роз} = 62,99 > F_{кр} = 4,16$, то з надійністю 0,95 модель (3) можна вважати адекватною статистичним даним і на підставі прийнятої моделі можна виконати розрахунки за формулами, наведеними в працях [8–12].

На рис. 7 ряди 1–5 відповідають статистичним даним, лінії регресії, нижній і верхній границям довірчого інтервалу, апроксимаційній кривій, отриманій за формулою (2).

З метою побудови аналогічної лінії регресії для λ (V_s на один ПК) розраховується значення \bar{V}_s – витрати на ТОіР на один ПК у середньому на рік. Результати розрахунку подано на рис. 8.

На рис. 9 побудовано лінію регресії $\lambda(\bar{V}_s)$.

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера більше від критичного

$$F_{роз} = 71,44 > F_{кр} = 4,16,$$

то з надійністю 0,95 модель (3) можна, так само як і для розрахунків у цілому по авіації, вважати адекватною статистичним даним і на підставі прийнятої моделі можна виконувати розрахунки за формулами, наведеними в працях [8–12] в розрахунку на один середньостатистичний ПК.

Висновки

Підтверджено принциповий характер залежностей $\lambda(V_s)$, незважаючи на розбіжності статистичних даних, відмінностей в стратегіях проведення ТОіР між регулярними та нерегулярними комерційними перевізниками.

Незважаючи на стохастичні коливання значень λ , суттєвим за значенням показника є вплив чинника відрахувань на підтримання технічної складової рівня БП у вигляді V_s та \bar{V}_s , що використовуються для проведення ТОіР.

Підтверджено, що запропонована регресія між λ та V_s можлива, як і застосування формул (1), (2). Отримано орієнтовні значення чинника і показника регресії.

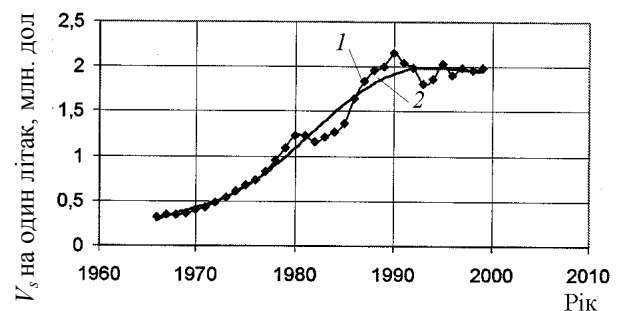


Рис. 8. Витрати на ТОіР на один середньостатистичний літак на рік:

1 – ряд 1; 2 – поліноміальний 5-го ступеня тренд ряду

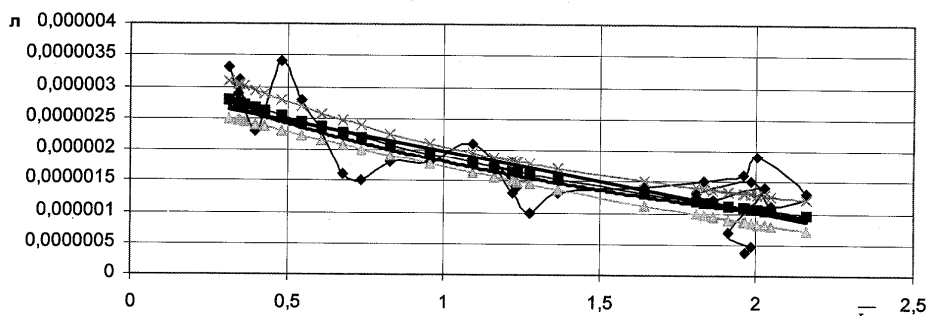


Рис. 9. Регресія $\lambda(\bar{V}_s)$:

1 – ряд 1; 2 – ряд 2; 3 – ряд 3; 4 – ряд 4; 5 – експоненціальний тренд ряду 1; 6 – лінійний тренд ряду 1

Для одержання грубих попередніх оцінок прийнятним є застосування формули (4).

Наступним кроком досліджень слід вважати врахування інфляційних процесів, динаміки цін, географічно-просторового розподілу вартостей, а також вплив і коштовність упровадження в підтримання БП інноваційних технологій [5].

У дослідженнях надалі також доцільно опрацювати фазові траєкторії, які відображають рівень безпеки і ризику пасажирів, враховуючи їх суб'єктивне сприйняття об'єктивних небезпек і, як наслідок, зворотний вплив на рівень БП з урахуванням суб'єктивних функцій переваг пасажирів. Таку роботу започатковано в праці [9].

Список літератури

1. *Статистика гражданской авиации мира*: Статистический ежегодник ИКАО. 1975–1977, 1979, 1983 – 86, 1989–1994, 1996–1999.
2. Новожилов Г.В., Неймарк М.С., Цесарский Л.Г. Безопасность полета самолета. Концепция и технология. – М.: Машиностроение, 2003. – 144 с.
3. Prof. zw. dr hab. Władimir Kasjanow, mgr Jan Prajsnar, mgr Urszula Tereszko. Elementy Statystyki dla Ekonomistów (skrypt). Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Jarosławiu. JAROSŁAW. – 2003. – 97 s.
4. Kasjanow Wł. Statystyczne metody modelowania i identyfikacji w dynamice lotu. – Warszawa, 1999. – 348 s.
5. Игнатов В.А., Маньшин Г.Г., Костановский В.В. Элементы теории оптимального обслуживания

технических изделий. – Минск: Наука и техника, 1974. – 192 с.

6. Толбатов Ю.А. Эконометрика: Підруч. для студ. екон. спец. вищ. навч. закл. – К.: ТП Пресс, 2003. – 320 с.

7. Nowak E. Zarys metod ekonometrii. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowe, PWN 2002. – 224 s.

8. Касьянов В.О., Гончаренко А.В. Параметричні дослідження комплексного техніко-економічного критерію безпеки // Вісн. НАУ. – 2004. – №1. – С. 109–112.

9. Касьянов В.А., Гончаренко А.В. Субъективный анализ и безопасность активных систем // Кибернетика и вычислительная техника. – 2004. – Вып. 142. – С. 41–56.

10. Kasyanov V., Goncharenko A. Modeling of technical and economical aspects of flight safety // The World Congress “Aviation in the XXI st Century” press-release. Sept. 14–16, 2003. – K., Ukraine: NAU, 2003. – P. 2.63–2.66.

11. Касьянов В.О., Гончаренко А.В. Визначення оптимальної швидкості витрат ресурсів, які спрямовуються безпосередньо на підтримку безпеки польотів // Виробництво та експлуатація авіаційної техніки: Матеріали V міжнар. наук.-техн. конф. “Авіа-2003”, 23–25 квіт. 2003 р. – Т.3. – К.: НАУ, 2003. – С. 31.7–31.11.

12. Касьянов В.А., Гончаренко А.В. Оценка характеристик функционирования системы в условиях, допускающих возникновение техногенных катастроф // Сучасні авіаційні технології: Матеріали IV міжнарод. наук.-техн. конф. “Авіа-2002”, 23–25 квіт. 2002 р. – Т.3. – К.: НАУ, 2002. – Ст. 31.23–31.26.

Стаття надійшла до редакції 02.09.04.

В.А. Касьянов, А.В. Гончаренко

Статистические оценки частоты катастроф

Обработан статистический материал по авиационным катастрофам за тридцатилетний период. Подтвержден характер зависимости частоты потока катастрофических событий от затрат на техническое обслуживание и ремонт. Приведены статистические данные показателей безопасности полетов.

V.A. Kasjanov, A.V. Goncharenko

Statistical estimates of the catastrophes frequency

Statistical material on aviation catastrophes for over a 30-year period has been processed. The character of the catastrophic events flow frequency dependence upon the maintenance, overhaul, and repair costs has been proved. Statistical data of flight safety indexes are adduced.